

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bendungan merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju aliran air pada sungai dan membentuk sebuah tampungan air yang biasa disebut waduk. Bendungan memiliki beberapa fungsi antara lain, sebagai pembangkit listrik tenaga air, untuk menstabilkan aliran air atau irigasi, untuk mencegah banjir, untuk bangunan pengalihan. Bangunan ini tak hanya terdiri dari tubuh bendungan saja melainkan ada beberapa komponen penunjang seperti pondasi, pintu air, bangunan pelimpah, system pengelak (bendungan pengelak dan saluran pengelak), dan waduk.

Bendungan memiliki berbagai macam tipe sesuai dengan fungsi, ukuran, kegunaan, dan konstruksinya. Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai bendungan yang sesuai dengan konstruksinya, yaitu bendungan tipe urugan.

Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, krakal, krikil, pasir, dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk di udiknya disebut bendungan tipe urugan atau “bendungan urugan”.

Didasarkan pada ukuran butiran dari bahan timbunan yang digunakan, secara umum dapat dibedakan 2 type bendungan urugan, yaitu :

- Bendungan urugan batu (rock fill dam) disingkat dengan istilah “Bendungan batu”.
- Bendungan urugan tanah (earth fill dam) disingkat dengan istilah “Bendungan tanah”

Selain kedua jenis tersebut, terdapat pula bendungan campuran, yaitu terdiri dari timbunan batu di bagian hilirnya yang berfungsi sebagai penyangga, sedang bagian udiknya terdiri dari timbunan tanah yang disamping berfungsi

sebagai penyangga tambahan, terutama berfungsi sebagai tirai kedap air (Sosrodarsono, 2002:11).

Sehubungan dengan fungsinya sebagai pengempang air atau pengangkat permukaan air di dalam suatu waduk, maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air kearah hilir serta penyangga tandonan air tersebut. Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi fungsinya dengan baik, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 (tiga) type utama, yaitu :

- Bendungan urugan homogen (bendungan homogen)
- Bendungan urugan zonal (bendungan zonal)
- Bendungan urugan bersekat (bendungan sekat)

Untuk dapat membedakan ketiga type tersebut, maka skema serta uraian singkatnya tertera pada Gambar 2.1.

1. Bendungan Homogen

Suatu bendungan urugan digolongkan dalam type homogen, apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Tubuh bendungan secara keseluruhannya berfungsi ganda, yaitu sebagai bangunan penyangga dan sekaligus sebagai penahan rembesan air.

2. Bendungan Zonal

Bendungan urugan digolongkan dalam type zonal, apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu. Pada bendungan type ini sebagai penyangga terutama dibebankan kepada timbunan yang lulus air (zone lulus air), sedang penahan rembesan dibebankan kepada timbunan yang kedap air (zone kedap air).

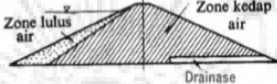
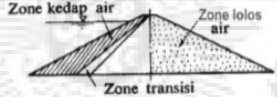
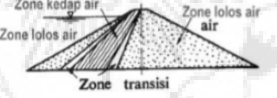
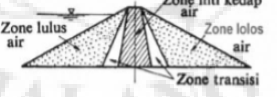

Berdasarkan letak dan kedudukan dari zone kedap airnya, maka type ini masih dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :

- Bendungan urugan zonal dengan tirai kedap air atau “bendungan tirai” (*front core fill type dam*), ialah bendungan zonal dengan zone kedap air yang membentuk lereng udik bendungan tersebut.

- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air miring atau “bendungan inti miring” (*inclined-core fill type dam*), ialah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dan berkedudukan miring ke arah hilir.
- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak atau “bendungan inti tegak” (*central-core fill type dam*), ialah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dengan kedudukan vertikal. Biasanya inti tersebut terletak di bidang tengah dari tubuh bendungan.

3. Bendungan urugan bersekat (bendungan sekat)

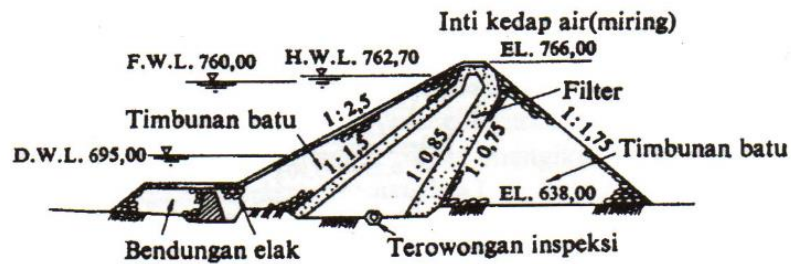
Bendungan urugan digolongkan dalam type sekat (facing) apabila di lereng udik tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kekedapan yang tinggi) seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastik, susunan beton blok, dll.

Tipe		Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen			Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama, dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan Zonal	Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang posisinya miring ke hilir.
	Inti vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang posisinya vertikal.
Bendungan urugan batu dengan membran			Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dan lain-lain.

Sumber: Sosrodarsono, 2002:12

Gambar 2.1 Klasifikasi Bendungan Urugan

Namun pada studi ini, Bendungan Tugu menggunakan bendungan zonal dengan type inti miring sebagai alternatif.



Sumber : Sosrodarsono, 2002:13

Gambar 2.2 Bendungan urugan Zonal Inti Miring

2.2 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi merupakan langkah awal dalam sebuah perencanaan bendungan. Dengan menggunakan data hidrologi suatu wilayah, dapat direncanakan sebuah bendungan sesuai dengan kebutuhan pada wilayah tersebut. Namun pada studi ini, tidak dilakukan perhitungan analisa hidrologi, karena untuk hasil perbandingan dengan studi terdahulu lebih akurat. Maka dari itu, data-data hidrologi seperti curah hujan rerata daerah, curah hujan rencana, debit banjir rencana, mengacu pada perhitungan hidrologi studi terdahulu pada tahun 1976-2009.

2.2.1 Debit Banjir Rencana (Q)

Debit banjir rencana merupakan debit banjir terbesar yang masih dapat ditahan oleh sesuatu bangunan (bendungan, bangunan pelimpah, terowongan dan lain-lain) (Soedibyo, 1993:236).

Dalam perencanaan ini, debit banjir rencana yang digunakan mengacu pada *Konsep Laporan Akhir Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek*. Ditentukan debit banjir rencana menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dengan debit kala ulang 1000 tahun dan debit PMF (*probable maximum flood*).

2.2.2 Penelusuran Banjir (*Routing Flood*)

Penelusuran banjir merupakan peramalan hidrograf di suatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf di titik lain. Hidrograf banjir dapat ditelusuri lewat palung sungai atau lewat waduk (Soemarto, 1999:107):

Penelusuran banjir lewat waduk didasarkan pada rumus debit yang melalui pelimpah sebagai berikut (Soemarto,1999:124):

$$Q = C . B . H^{3/2} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

- Q = debit banjir rencana (m³/dt)
- C = koefisien debit limpahan (m³/dt)
- B = lebar ambang bangunan pelimpah (m)
- H = tinggi energi di atas ambang bangunan pelimpah

Dalam menentukan koefisien debit pada perhitungan penelusuran banjir, dapat diperoleh dengan rumus Iwasaki sebagai berikut :

$$Cd = 2,2 - 0.0416 (Hd/W)^{0,99} \dots\dots\dots(2-2)$$

$$C = 1,60 \frac{1+2a(h/Hd)}{1+a(h/Hd)} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana :

- C = koefisien limpahan
- Cd = koefisien limpahan pada saat h = Hd
- h = tinggi air di atas mercu bendung
- Hd = tinggi tekanan rencana di atas mercu bendung
- W = tinggi bendung
- a = konstanta (diperoleh pada saat h = Hd yang berarti C = Cd dan dengan rumus 4-2, maka harga a dengan mudah dapat diperoleh)

Setelah didapat koefisien debit dari perhitungan rumus diatas, maka dapat dilanjutkan perhitungan penelusuran banjir melewati pelimpah. Dengan adanya penelusuran banjir maka akan didapat tinggi maksimum muka air yang nantinya dapat digunakan untuk merencanakan tinggi bendungan. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk penelusuran banjir :

$$\frac{I_1+I_2}{2} + \left(\frac{S_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} \right) = \left(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} \right) \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

I_1, I_2 = debit inflow pada waktu t_1, t_2

Q_1, Q_2 = debit outflow pada waktu t_1, t_2

S_1, S_2 = volume tampungan bendungan pada waktu t_1, t_2

(Sumber : Soemarto, 1999:123)

2.3 Dimensi Tubuh Bendungan

Pada perhitungan dimensi bendungan meliputi tinggi bendungan, lebar bendungan, panjang bendungan, dan kemiringan lereng.

2.3.1 Tinggi Bendungan

Tinggi bendungan adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu bendungan. Untuk menentukan tinggi bendungan secara optimal harus memperhatikan tinggi ruang bebas dan tinggi air untuk operasi waduk (Soedibyo, 1993 : 219).

Untuk menentukan tinggi bendungan, harus menentukan tinggi jagaan (H_f) dahulu menggunakan persamaan sebagai berikut : (Sosrodarsono, 2002:169)

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

H_f = tinggi jagaan

Δh = tinggi kemungkinan permukaan air waduk yang terjadi akibat
timbulnya banjir abnormal

h_w = tinggi ombak akibat tiupan angin

h_e = tinggi ombak akibat gempa

h_a = tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila
terjadi kemacetan

kemacetan pada pintu bangunan pelimpah

h_i = tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk

2.3.1.1 Tinggi gelombang akibat angin (h_w)

Menggunakan rumus yang ditemukan Stevenson, tinggi gelombang akibat tiupan angin dapat dihitung sebagai berikut :

$$h_w = 0,34 \sqrt{F} + 0,76 - \sqrt[4]{F} \dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan :

F = Fetch (km), diketahui panjang garis dari tepi waduk dengan bendungan itu sendiri

h_w = tinggi gelombang akibat tiupan angin (m)

2.3.1.2 Tinggi gelombang sebagai akibat gempa (h_e)

Untuk menghitung tinggi gelombang akibat gempa menggunakan rumus Seichi Sato sebagai berikut :

$$h_e = \frac{k.t}{2\pi} \sqrt{g H_o} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

h_e = tinggi gelombang akibat gempa (m)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

H_o = kedalaman air di waduk (m)

K = koefisien gempa

t = periode gelombang (detik)

2.3.1.3 Tinggi keamanan terhadap macetnya pembukaan pintu air bangunan pelimpah (h_a)

Tinggi kenaikan muka air waduk yang disebabkan oleh ketidak-normalan operasi pintu-pintu dapat melampaui batas maksimum rencana. Maka dari itu, penentuan tinggi jagaan tidak dapat selalu didasarkan pada hal-hal tersebut, karena pertimbangan-pertimbangan ekonomis. Sehingga ditentukan $h_a = 0,5$ m sebagai standard.

2.3.1.4 Tinggi keamanan sebagai akibat tipe bendungan (h_i)

Bendungan urugan sangat berbahaya terhadap limpahan air yang melewati puncak bendungan, maka dari itu angka standard yang aman untuk tinggi jagaan bendungan urugan ialah 1,0 m.

2.3.2 Lebar Mercu Bendungan

Lebar mercu bendungan yang memadai diperlukan agar puncak bendungan dapat bertahan terhadap hempasan ombak di atas permukaan lereng yang berdekatan dengan mercu tersebut dan dapat bertahan terhadap aliran filtrasi yang melalui bagian puncak tubuh bendungan yang bersangkutan.

Guna memperoleh lebar minimum mercu bendungan, biasanya dihitung menggunakan rumus sebagai berikut : (Sosrodarsono, 2002:173)

$$b = 3,6 H^{1/3} - 3,0 \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana :

b = lebar mercu (m)

H = tinggi bendungan (m)

2.3.3 Panjang Bendungan

Yang dimaksud dengan panjang bendungan adalah seluruh panjang mercu bendungan yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing-tebing sungai di kedua ujung mercu tersebut. Apabila bangunan pelimpah atau bangunan penyadap terdapat pada ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang bendungan. (Sosrodarsono, 2002:170)

2.4 Perhitungan Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan

Analisa stabilitas pada tubuh bendungan sangat diperlukan pada perencanaan bendungan untuk mengetahui seberapa kuat tubuh bendungan dapat menahan air dalam jumlah yang sangat besar. Mengingat akan terjadinya rembesan pada tubuh bendungan dan pondasi, maka hal ini yang akan menjadi salah satu faktor penting dalam perhitungan satbilitas bendungan.

2.4.1 Analisa Stabilitas Lereng Bendungan

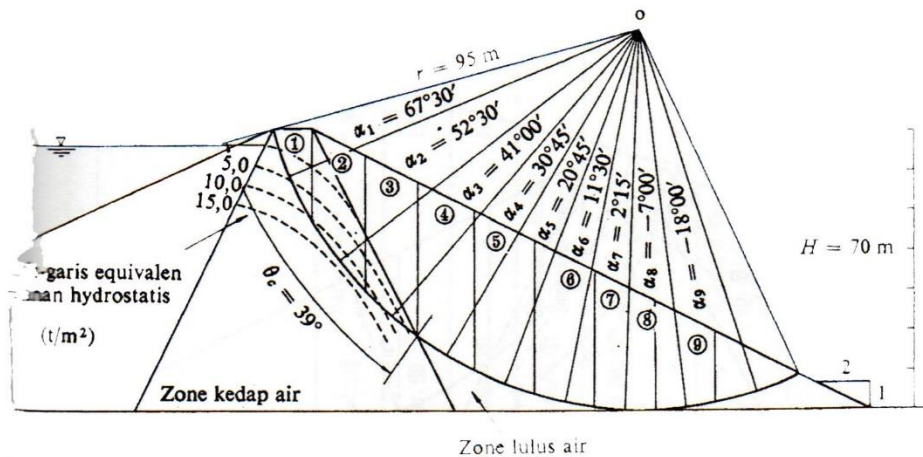
Jebolnya suatu bendungan urugan biasanya dimulai dengan terjadinya suatu gejala longsor baik pada lereng udik, maupun lereng hilir bendungan tersebut yang disebabkan kurang memadainya stabilitas kedua lereng tersebut. Pada perhitungan analisa stabilitas lereng Tubuh Bendungan Tugu, dilakukan perhitungan menggunakan metode irisan bidang luncur bundar dengan rumus sebagai berikut : (Sosrodarsono, 2002:141)

$$F_s = \frac{\sum \{c.l + (N - U - Ne) \tan \phi\}}{\sum (T + Te)} \dots\dots\dots(2-9)$$

$$F_s = \frac{\sum c.l + \sum \{\gamma . A (\cos \alpha - e . \sin \alpha) - V\} \tan \phi}{\sum \gamma . A (\sin \alpha + e . \cos \alpha)} \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana :

- F_s = Faktor keamanan
- N = Beban komponen vertical yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur (= $\gamma . A . \cos \alpha$)
- T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur (= $\gamma . A . \sin \alpha$)
- U = Tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur
- Ne = Komponen vertical beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur (= $e . \gamma . A . \sin \alpha$)
- Te = Komponen tangensial beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur (= $e . \gamma . A . \cos \alpha$)
- I = panjang busur (m)
- ϕ = Sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur (°)
- C = Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
- γ = Berat isi setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur (t/m³)



Sumber : Sosrodarsono, 2002:143

Gambar 2.3 Skema perhitungan dengan metode irisan bidang meluncur

2.4.2 Perhitungan Koefisien Gempa

Pada saat kondisi gempa, rumus yang digunakan untuk perhitungan koefisien gempa sebagai berikut (M. Das, 1994: 62):

$$k = \frac{Ad}{g} \dots\dots\dots(2-11)$$

$$Ad = z . Ac . v \dots\dots\dots(2-12)$$

Dimana :

k = koefisien gempa

Ad = percepatan gempa terkoreksi (gal)

Ac = percepatan gempa dasar (gal)

z = percepatan gempa dasar berdasarkan peta zona gempa wilayah Indonesia

v = faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

g = percepatan gravitasi

2.4.3 Analisa Terhadap Aliran Filtrasi

Pada dasarnya tubuh bendungan dan pondasi harus mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan dari adanya air rembesan yang mengalir melalui celah-celah butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasinya.

Kapasitas aliran filtrasi dapat diperkirakan berdasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dengan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono, 2002:165):

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot H \cdot L \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana :

- Q_f = kapasitas aliran filtrasi (m^3/det)
- N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi
- N_p = angka pembagi dari garis equipotensial
- k = koefisien filtrasi (m/det)
- H = tinggi tekanan air total
- L = panjang profil melintang tubuh bendungan

2.4.4 Analisa Keamanan Terhadap Sufosi (*Piping*) dan Sembulan (*Boiling*)

Aliran rembesan yang melewati tubuh bendungan dapat membahayakan tubuh bendungan maupun pondasinya. Bila tekanan rembesan ke atas yang terjadi sama dengan i_c , maka akan berakibat tanah mengapung. Keadaan semacam ini dapat berakibat terangkutnya butir-butir tanah halus, sehingga terjadi pipa-pipa di dalam tanah. Kondisi seperti ini disebut *piping*.

Harza (1935) memberikan faktor keamanan bangunan air terhadap bahaya *piping*, sebagai berikut (Hardiyatmo, 1992:113) :

$$SF = \frac{i_c}{i_e} \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

Untuk kondisi tanah mengapung dikarenakan gradien hidrolis berada pada keadaan minimum, sehingga :

$$i_c = \frac{Gs-1}{1+e} \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana :

SF = Angka keamanan piping (minimal 4)

i_c = gradien hidraulik kritis

(harga i_c bervariasi dari 0,9 sampai dengan 1,1 dengan angka rata-rata adalah 1,0)

i_e = gradien hidraulik debit

Gs = berat jenis material

e = angka porositas

